

Секція: Кораблебудування, транспорт, будівництво

Кожушко А.П.

*аспірант кафедри автомобіле- і тракторобудування,
Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”,
м. Харків, Україна*

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ТА ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ У БЕЗСТУПНЧАСТИХ ГІДРООБ’ЄМНО-МЕХАНІЧНИХ ТРАНСМІСІЯХ

Точність досліджень характеризується якістю вимірів, котрі максимально наближені до результатів істинного значення вимірювальної величини. В залежності від задач дослідження обирається кількість повторних опитів, таким чином щоб забезпечувалось достовірність дослідження.

Мета досліджень полягає в визначенні впливу законів зміни параметру регулювання гідромашин гідрооб’ємної передачі (ГОП) $e_1(t)$, $e_2(t)$ на основні параметри (кутових швидкостей на валах трифазного асинхронного двигуна (ТАД) ω_0 , гідронасоса ω_n , гідромотора ω_m , порошкового гальмівного механізму (ПГМ) ω_T ; перепаду робочого тиску в ГОП Δp ; крутних моментів на валах ТАД M_0 та ПГМ M_T) гідрооб’ємно-механічних трансмісій (ГОМТ) з «диференціалом на вході» та «диференціалом на виході» при різноманітних змінах гальмівного моменту M_T в процесі розгону, а також перевірі адекватності математичної моделі [1-3], котра описувала робочі процеси в ГОМТ.

Задача дослідження полягає в визначенні в процесі розгону впливу законів зміни параметру регулювання гідромашин $e_1(t)$, $e_2(t)$ на основні параметри ГОМТ з «диференціалом на вході» та «диференціалом на виході» при різних навантаженні на ПГМ.

Об’єктом досліджень виступають стенди ГОМТ з «диференціалом на вході» та «диференціалом на виході», котрі були розроблені робочою групою кафедри «Автомобіле- та тракторобудування» НТУ ХПІ на чолі з аспірантом

Мітцелем М.О. під керівництвом завідувача кафедри, д.т.н., проф. Самородова В.Б. [4].

В процесі теоретичного дослідження в якості математичної моделі ТАД застосовувалась вже розроблена математична модель в системі Matlab, а саме в демонстраційній бібліотеці Demos підсистемі Simulink вкладці SimPowerSystems.

Для теоретичного дослідження ГОМТ були побудовані математичні моделі в системі Matlab підсистемі Simulink, а саме для ГОМТ з «диференціалом на вході» та «диференціалом на виході» (структурні схеми показані на рис. 1) математична модель записувалась системою рівнянь. Для схеми ГОМТ з «диференціалом на вході» математична модель описувалась системою рівнянь (1, 3), а для ГОМТ з «диференціалом на виході» математична модель описувалась системою рівнянь (2, 4).

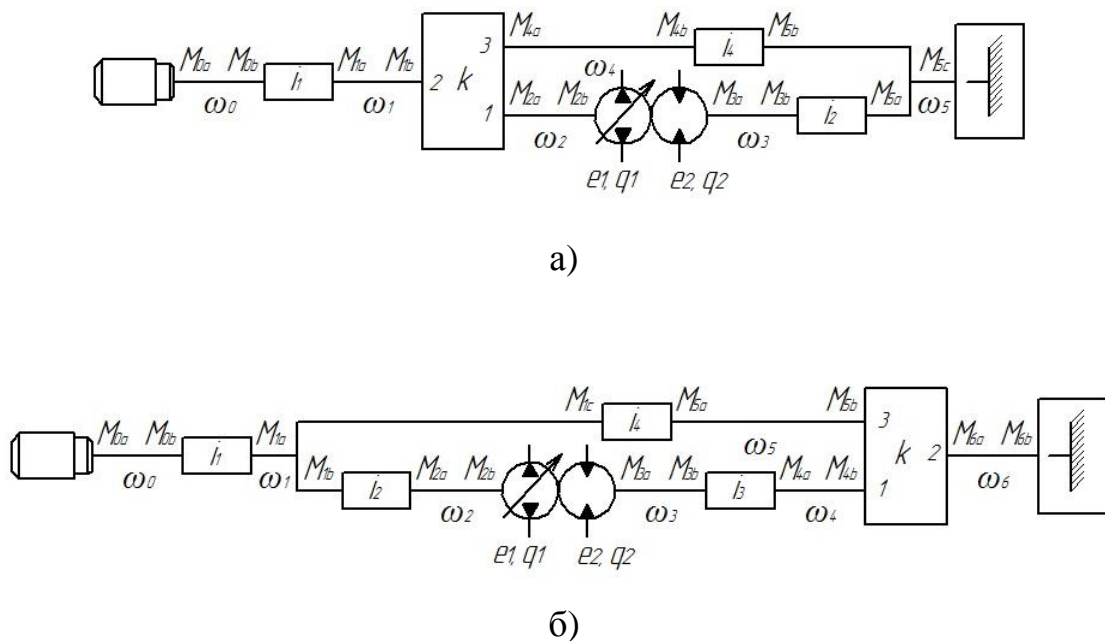


Рисунок 1 – Структурні схеми ГОМТ:

а) «диференціал на вході»; б) «диференціал на виході».

Зміна кутових прискорень, описувалась наступною системою рівнянь:

$$\begin{cases}
\dot{\omega}_0 \cdot i_1 - \dot{\omega}_1 = 0; \\
\dot{\omega}_2 - k \cdot \dot{\omega}_1 + (k-1) \cdot \dot{\omega}_4 = 0; \\
e_1 \cdot q_1 \cdot \dot{\omega}_2 + q_1 \cdot \omega_2 \cdot \dot{e}_1 - e_2 \cdot q_2 \cdot \dot{\omega}_3 - q_2 \cdot \omega_3 \cdot \dot{e}_2 = \\
\left(\frac{K_{1y}}{\mu} \cdot (1 + C_{1y} \cdot |\omega_{02}|) + \frac{K_{2y}}{\mu} \cdot (1 + C_{2y} \cdot |\omega_{03}|) \right) \cdot \Delta \dot{P} + \\
+ \left(\frac{K_{1y}}{\mu} \cdot C_{1y} \cdot \frac{|\omega_{02}|}{dt} + \frac{K_{2y}}{\mu} \cdot C_{2y} \cdot \frac{|\omega_{03}|}{dt} \right) \cdot \Delta P; \\
\dot{\omega}_3 \cdot i_2 - \dot{\omega}_5 = 0; \quad \dot{\omega}_4 \cdot i_4 - \dot{\omega}_5 = 0.
\end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases}
\dot{\omega}_0 \cdot i_1 - \dot{\omega}_1 = 0; \quad \dot{\omega}_1 \cdot i_2 - \dot{\omega}_2 = 0; \\
\dot{\omega}_1 \cdot i_4 - \dot{\omega}_5 = 0; \quad \dot{\omega}_3 \cdot i_3 - \dot{\omega}_4 = 0; \\
e_1 \cdot q_1 \cdot \dot{\omega}_2 + q_1 \cdot \omega_2 \cdot \dot{e}_1 - e_2 \cdot q_2 \cdot \dot{\omega}_3 - q_2 \cdot \omega_3 \cdot \dot{e}_2 = \\
\left(\frac{K_{1y}}{\mu} \cdot (1 + C_{1y} \cdot |\omega_{02}|) + \frac{K_{2y}}{\mu} \cdot (1 + C_{2y} \cdot |\omega_{03}|) \right) \cdot \Delta \dot{P} + \\
+ \left(\frac{K_{1y}}{\mu} \cdot C_{1y} \cdot \frac{|\omega_{02}|}{dt} + \frac{K_{2y}}{\mu} \cdot C_{2y} \cdot \frac{|\omega_{03}|}{dt} \right) \cdot \Delta P; \\
\dot{\omega}_4 - k \cdot \dot{\omega}_6 + (k-1) \cdot \dot{\omega}_5 = 0.
\end{cases} \quad (2)$$

Зміна силових параметрів описується наступною системою рівнянь:

$$\begin{cases}
M_{0b} \cdot \eta_1^{\Theta \cdot \text{sign}(N_{0b})} + i_1 \cdot M_{1a} = 0; \\
M_{2a} \cdot \eta_{21}^{\Theta \cdot \text{sign}(N_{2a})} + M_{1b} \cdot \eta_{22}^{\Theta \cdot \text{sign}(N_{1b})} + M_{4a} = 0; \\
M_{2a} \cdot k \cdot \eta_{21}^{\Theta \cdot \text{sign}(N_{2a})} + M_{1b} \cdot \eta_{52}^{\Theta \cdot \text{sign}(N_{1b})} = 0; \\
M_{2b} - e_1 \cdot q_1 \cdot \Delta P = -\Delta M_1 \cdot \text{sign}(\omega_2); \\
M_{3a} + e_2 \cdot q_2 \cdot \Delta P = -\Delta M_2 \cdot \text{sign}(\omega_3); \\
M_{3b} \cdot \eta_3^{\Theta \cdot \text{sign}(N_{3b})} + i_2 \cdot M_{5a} = 0; \\
M_{4b} \cdot \eta_4^{\Theta \cdot \text{sign}(N_{4b})} + i_4 \cdot M_{5b} = 0; \\
M_{0a} + M_{0b} = 0; \quad M_{1a} + M_{1b} = 0; \\
M_{2a} + M_{2b} = 0; \quad M_{3a} + M_{3b} = 0; \\
M_{4a} + M_{4b} = 0; \quad M_{5a} + M_{5b} + M_{5c} = 0.
\end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases}
M_{0b} \cdot \eta_1^{\Theta \cdot \text{sign}(N_{0b})} + i_1 \cdot M_{1a} = 0; \quad M_{1b} \cdot \eta_2^{\Theta \cdot \text{sign}(N_{1b})} + i_2 \cdot M_{2a} = 0; \\
M_{3b} \cdot \eta_3^{\Theta \cdot \text{sign}(N_{3b})} + i_3 \cdot M_{4a} = 0; \quad M_{1c} \cdot \eta_4^{\Theta \cdot \text{sign}(N_{1c})} + i_4 \cdot M_{5a} = 0; \\
M_{2b} - e_1 \cdot q_1 \cdot \Delta P = -\Delta M_1 \cdot \text{sign}(\omega_2); \\
M_{3a} + e_2 \cdot q_2 \cdot \Delta P = -\Delta M_2 \cdot \text{sign}(\omega_3); \\
M_{4b} \cdot \eta_{51}^{\Theta \cdot \text{sign}(N_{4b})} + M_{6a} \cdot \eta_{52}^{\Theta \cdot \text{sign}(N_{6a})} + M_{5b} = 0; \\
M_{4b} \cdot k \cdot \eta_{51}^{\Theta \cdot \text{sign}(N_{4b})} + M_{6a} \cdot \eta_{52}^{\Theta \cdot \text{sign}(N_{6a})} = 0; \\
M_{0a} + M_{0b} = 0; \quad M_{1a} + M_{1b} + M_{1c} = 0; \quad M_{2a} + M_{2b} = 0; \\
M_{3a} + M_{3b} = 0; \quad M_{4a} + M_{4b} = 0; \\
M_{5a} + M_{5b} = 0; \quad M_{6a} + M_{6b} = 0.
\end{cases} \quad (4)$$

де $\dot{\omega}_i$ – кутове прискорення ланки;

$\dot{\omega}_0$ – кутове прискорення валу двигуна ТАД;

k – внутрішнє передавальне відношення планетарного ряду [5];

i_j – передавальне відношення редуктора;

e_1, e_2 – параметри регулювання ГОП;

q_1, q_2 – максимальна продуктивність гідромашин;

K_{iy}, C_{iy} – коефіцієнти втрат для гідронасоса ($i=1$) і для гідромотора

($i=2$);

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості;

ω_{0i} – кутова швидкість на валах гідромашин, обчислена при

ітераційному вирішенні нелінійної матричної системи на попередній ітерації, для першої ітерації приймається рівною 0;

M_{nm} – моменти на ланках ГОМТ; m – індекс-число співпадає з номером кутової швидкості ланки; n – індекси-букви відповідають моментам на кінцях ланок (рис. 2.4);

η_j – ККД редуктора;

ω_i – кутова швидкість ланки;

η_{13}, η_{23} – ККД в зубчатих зачепленнях сонце-сателіт та епіцикл-сателіт при зупиненому водилі, що визначають втрати моментів;

N_{nm} – потужність, що передається ланками ГОМТ (добуток кутових швидкостей на відповідні моменти з урахуванням знаку дають величину і напрям потоків потужності на конкретних ланках і елементах ГОМТ);

$\Delta M_1, \Delta M_2$ – втрати моменту в гідромашинах, що обчислюються, наприклад, згідно математичної моделі втрат К.І. Городецького [5], як функції параметрів регулювання, кутової швидкості валів гідромашин, робочих об'ємів q_1, q_2 і перепаду тиску Δp ;

В процесі теоретичного дослідження ГОМТ значення гальмівного моменту M_T бралось з результатів, які були отримані експериментальним шляхом, при цьому характер зміни закону $M_T(t)$, як при теоретичному, так і при експериментальному дослідженні, були максимально наближені один до одного.

Аналізуючи отримані дані теоретичного та експериментального дослідження ГОМТ, не залежно від схеми з «диференціалом на вході» чи «диференціалом на виході», найбільша похибка не перевищувала 8,95% при визначенні максимального перепаду робочого тиску в ГОП $|\Delta p|_{\max}$, 9,01% – для крутного моменту на валу трифазного асинхронного двигуна $|M_d|_{\max}$, 1,4% – для гальмівного моменту на валу електромагнітного порошкового навантажувального гальма $|M_T|_{\max}$, 7,71% – для кутової швидкості вала гідронасоса $|\omega_n|_{\max}$, 2,84% – для кутової швидкості вала гідромотора $|\omega_m|_{\max}$, 1,92% – для кутової швидкості вала трифазного асинхронного двигуна $|\omega_d|_{\max}$,

5,63% – для кутової швидкості вала електромагнітного порошкового навантажувального гальма $|\omega_T|_{\max}$.

В результаті порівняльного аналізу результатів експериментальних та теоретичних досліджень робочих процесів в ГОМТ було доведено доцільність використання підходів для опису ГОМТ, які наведені в роботах [1-3] і дозволяють зробити висновок про адекватність моделі ГОМТ та можливість використання підходів з робіт [1-3] для опису динаміки ГОМТ в процесі розгону трактора з ГОМТ.

Список використаної літератури:

1. Самородов В.Б. Динаміка процесу розгону колісних тракторів серії Fendt 900 Vario / В.Б. Самородов, А.І. Бондаренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 1/3 (61). – С. 4 – 11.
2. Самородов В.Б. Динаміка процесу розгону колісного трактора-аналога “Беларус 3022 ДВ” з гідрооб’ємно-механічною трансмісією / В.Б. Самородов, А.І. Бондаренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 6/7 (60). – С. 15 – 19.
3. Самородов В.Б. Основы теории автоматизированной генерации математических моделей трансмиссий / Самородов В.Б. // Механика и машиностроение. - Харьков: НТУ “ХПИ”. - №1, 1998. – С.109-115.
4. Самородов В.Б., Мітцель М.О. Система керування гідрооб’ємно-механічною трансмісією на базі крокового двигуна // Збірка тез міжнародної науково-практичної конференції з нагоди Дня автомобіліста і шляховика: "Новітні технології розвитку конструкції, виробництва, експлуатації, ремонту і експертизи автомобіля", 15 - 16 жовтня 2014 р., м. Харків) / Міністерство освіти і науки України, ХНАДУ. – Харків: ХНАДУ, 2014. – С. 57– 59 .
5. Городецкий К.И. Математическая модель объемных гидромашин / К.И. Городецкий, А.А. Михайлин // Вестник машиностроения. – 1981.– №9.– С. 14 – 17.